

doi: 10.3969/j. issn. 1007-2861. 2010. 06. 013

一种新型的三频平面倒 F 天线

孙权, 王子华, 李英, 陈文峰, 李素萍

(上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要: 提出一种新型的平面倒 F 天线结构, 该结构通过在矩形贴片上开 L 形和 T 形槽实现工作于 RFID(915 MHz)/GPS(1 575.42 MHz)/WCDMA(2.1 GHz) 的三频特性。该天线的 3 个电流路径共用一个馈电点, 结构简单, 容易制作, 可以根据实际需要选择不同的频率点。使用 HFSS V10 进行仿真分析, 实测结果和仿真结果比较吻合。

关键词: 平面倒 F 天线; L 形与 T 形槽; 三频天线

中图分类号: TN 823

文献标志码: A

文章编号: 1007-2861(2010)06-0620-05

A Novel Tri-band Planar Inverted-F Antenna

SUN Quan, WANG Zi-hua, LI Ying, CHEN Wen-feng, LI Su-ping.

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A novel planar inverted-F antenna is proposed. Triple bands of RFID (915 MHz)/GPS (1 575.42 MHz)/WCDMA (2.1 GHz) are realized by etching L-shape and T-shape slots on a rectangular patch. The proposed antenna has simple structure and needs only one feed, therefore is easy to fabricate and adjust. According to application scenarios, it can work in different frequency bands. The effects of different parameters on antenna characteristics are investigated. Simulation results are obtained by using HFSS V10 software, and compared with experimental results, with good agreement.

Key words: planar inverted-F antenna (PIFA); L-shape and T-shape slots; triple bands antenna

随着现代通信技术的发展, 无线通信设备的终端越来越向小型化、多功能化等方向发展, 因此, 对于终端天线的设计也提出了小型化、多频带的要求。平面倒 F 天线具有平面和垂直两种极化特性, 其结构紧凑、便于集成、制作简单、成本低、后向辐射较小、比吸收率(specific absorption rates, SAR)低, 非常适用于移动通信的终端。多频平面倒 F 天线的制作可以采用多层贴片叠合的方法^[1], 但其结构复杂、工艺繁琐, 对频率点的影响因素较多, 容易产生较大的误差。

本研究提出一种结构新颖的平面倒 F 天线, 通

过在贴片上开出 L 形和 T 形槽, 并且调节它们之间的相对位置, 就可得到三频特性, 同时为了能够更好地实现匹配, 还可在侧面加载一块矩形贴片。本研究以工作在 RFID(915 MHz)/GPS(1 575.42 MHz)/WCDMA(2.1 GHz) 的三频天线为例, 给出了具体的设计步骤, 并加工制作了样品天线, 测试结果与仿真结果较为吻合。

1 天线结构和理论分析

在平面倒 F 天线的矩形贴片上开出 U 形、L 形^[2-3]等槽可得到双频特性, 将其中二者结合便可以

收稿日期: 2009-05-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60571054); 上海大学研究生创新基金资助项目(SHUCX080153)

通信作者: 王子华(1949~), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为光信息传输理论和导波光学。E-mail: zhwang@staff.shu.edu.cn

得到三频特性^[3],但不同的结合方式对频段之间的影响不同,调节的难易程度也不同.本研究采用L形结合T形方案获得三频特性.

天线结构的三视图如图1所示.上层矩形贴片与接地板之间的距离为 h ,中间的填充介质为空气,在矩形贴片上开L形和T形槽.先确定L形槽和T形槽的宽度均为 d ,这样可减少调节的复杂度.接地板的长度与宽度分别为 l_g 和 w_g .将长度为 l ,宽度为 w 的矩形贴片作为辐射元0,以产生中心谐振频率 f_0 (RFID(915 MHz));将L形槽所围的长度为 l_1 ,宽度为 w_1 的缝隙部分作为辐射元1,以产生中心谐振频率 f_1 (GPS(1 575.42 MHz));将T形槽所围的长度为 l_2 ,宽度为 w_2 的缝隙部分作为辐射元2,以产生中心谐振频率 f_2 (WCDMA(2.1 GHz)).3个辐射单元共用1个短路臂和1个馈电.

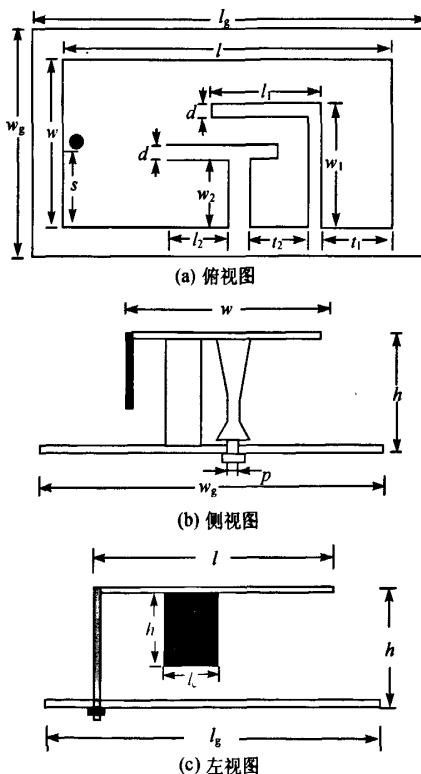


图1 天线结构三视图

Fig. 1 3D view of the antenna

平面倒F天线由微带天线发展而来,其发展过程经历了1/4波长单极天线→倒L天线→倒F天线→平面倒F天线4个阶段.平面倒F天线的分析理论也来源于微带天线的分析理论.对微带天线分

析比较成熟的理论是由罗远祉于1979年提出的空腔模型理论^[4],现已成为微带天线分析的基本理论.该理论认为微带天线可以看作四壁为磁壁、上下为电壁的腔体,首先计算腔体的内场,进而计算辐射缝隙的等效磁流,最后计算天线的远场.平面倒F天线由于有一段短接,因此可以看成是上下为电壁、四周为三面磁壁和一面电壁的腔体,其余分析步骤同微带天线.根据理论分析^[5-6],对于接地等效为无限大的矩形辐射单元,平面倒F天线的谐振频率可以由下式估算:

$$f_r = \frac{c}{4(l_p + w_p)}, \quad (1)$$

式中 f_r 为谐振频率, c 为光速, l_p 和 w_p 分别为矩形谐振单元的长度和宽度.

对于L形槽和T形槽,谐振频率的估算公式可以修正为

$$f_r = \frac{c}{4\alpha(l_p + w_p)}, \quad (2)$$

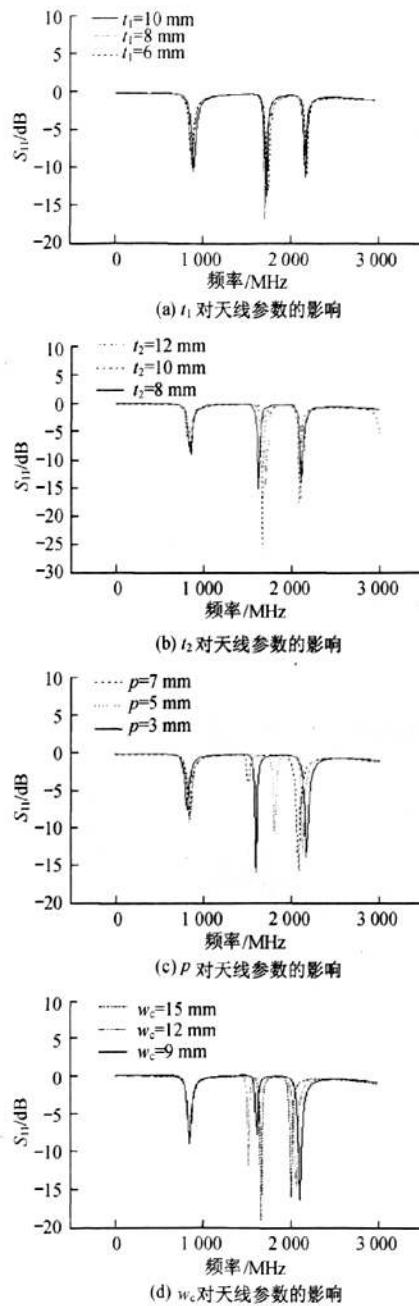
式中, α 为修正因子(与L形槽或T形槽到矩形贴片边缘的相对距离有关), l_p 和 w_p 分别为L形槽或者T形槽的长度和宽度.

由式(1)和(2)可知,3个辐射元相对应的长度和宽度决定了频率点的位置,而且相互之间的影响较小,从而降低了制作天线的难度.

图2(a)~图2(d)分别表示在不同L形槽到矩形贴片的距离 t_1 ,L形槽和T形槽的距离 t_2 ,T形槽的右端突出部分长度 p 和矩形加载贴片宽度 w_c 的情况下,天线回波损耗 S_{11} 随频率的变化曲线.从图中可以比较直观地看出各参数对天线性能的影响.图2(a)表明 t_1 对天线参数的影响较小.图2(b)表明 t_2 对 f_0 的影响很小,但是对 f_1 和 f_2 的影响较大.图2(c)表明 p 对 f_1 , S_{11} 和带宽均有较大影响,当 p 变大时, f_1 先右移后左移.因此,为了得到较好的匹配参数和覆盖GPS频段,必须选择合适的 p 值.可以看到,当 $p=3$ mm时,可以得到较好的天线性能.图2(d)表明 w_c 对 f_1 和 f_2 的影响较大,而对 f_0 几乎没有影响.当 w_c 变大时, f_2 变小,而 f_1 先左移后右移,因此,选择合适的 w_c 可以使 f_2 位于WCDMA频段,并且获得比较好的匹配参数.

2 天线的设计、加工和测量

在设计加工过程中,首先,确定整个矩形贴片的长度和宽度,调节矩形短路片和馈线的位置,设计出

图2 t_1, t_2, p 和 w_c 对天线参数的影响Fig. 2 Effect of t_1, t_2, p and w_c on parameters of the antenna

工作于915 MHz的单频平面倒F天线;然后,在贴片上开出L形槽,估算出L形槽的长度和宽度,并考虑到 t_1 对 f_0 和 f_1 的显著影响,需要选择合适的 t_1 ,使得RFID和GPS频段获得比较好的匹配效果,进而得到双频天线;最后,在L形槽左侧开出T形槽,估

算出T形槽的长度和宽度,得到 f_2 。在侧面加载的矩形贴片会对 f_2 产生较大影响(见图3),因此,需要调节侧面矩形贴片的尺寸和位置,同时选择合适的 t_2 ,使得3个频率点都达到匹配,从而得到三频天线。为了得到更好的阻抗匹配参数和更大的带宽,本研究使用蝶形馈线^[7]和加载小矩形贴片^[8,9]。蝶形馈线主要用于改善天线的带宽特性,在矩形贴片一侧加载一个可等效为电抗加载网络的小矩形贴片,在减小 f_2 的同时也改善了天线的阻抗特性。图3为几种天线性能的对比情况。本研究采用Ansoft公司基于有限元法的电磁分析软件HFSS V10^[10]进行天线设计,设定最高工作频率为3 GHz,采用每波长60个网格的划分,扫频范围为0.5~3.0 GHz。

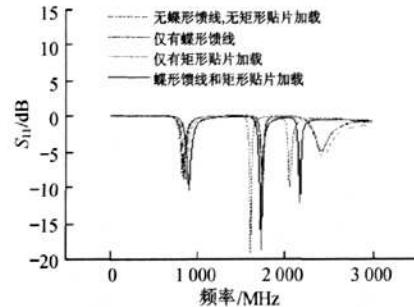


图3 矩形加载贴片和蝶形馈线对仿真结果的影响

Fig. 3 Effect of the rectangular patch and the bow-tie feeding line

本研究按照如表1所示的设计天线参数制作了实物天线(见图4)。导电接地板和矩形贴片采用0.2 mm厚铜皮,接地板和矩形贴片之间采用泡沫介质(介电常数约为1.07,与空气接近)代替空气作为支撑介质,以保持贴片水平。馈电方式采用50 Ω同轴馈电,在天线的辐射面和地平面处均加理想电场边界。图5(a)为 S_{11} 的仿真结果,图5(b)为通过网络分析仪测量得到的 S_{11} 值。3个频段的中心频率点分别为0.913 2, 1.601 6, 2.096 3 GHz,对应的 S_{11} 分别为-16.827, -12.118, -10.669 dB。由此可见,在915 MHz处的实测数值优于仿真结果;在2.1 GHz

表1 设计天线参数

Table 1 Parameters of the antenna

	l_e	l	l_1	l_2	t_1	s	h	l_c	mm
72	46	19	14	10	4	16	11		
	w_e	w	w_1	w_2	t_2	p	h_c		
40	23	20	12	5	5	5	13		

处,实测与仿真结果吻合得很好;在1.575 GHz处,实测与仿真结果有小范围的偏差,这主要是由加工精度和焊接工艺造成的。

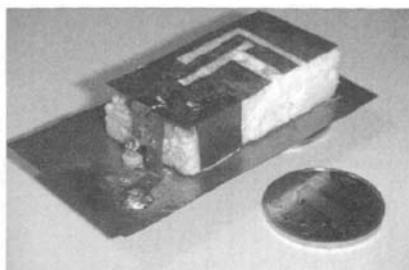


图4 天线实物
Fig.4 Designed antenna

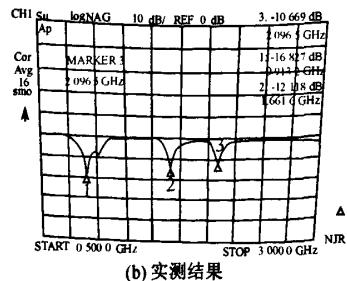
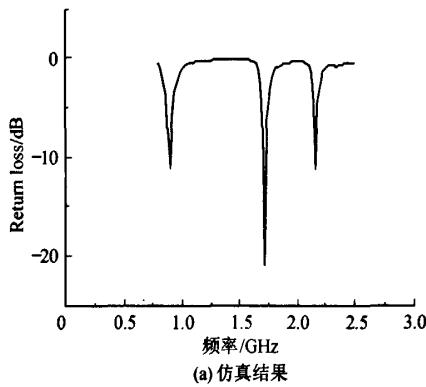


图5 天线仿真和实测结果
Fig.5 Simulation and test results of the antenna

图6为天线在3个频率点的仿真方向图,其中图6(a)为中心频率在915 MHz RFID频段方向图,其增益最高可达3.48 dB;图6(b)为中心频率在1.575.42 MHz GPS频段的方向图,其增益最高可达7.08 dB;图6(c)为中心频率在2.1 GHz WCDMA频段的方向图,其增益最高可达6.4 dB。

3 结束语

本研究在单频平面倒F天线的基础上,通过在

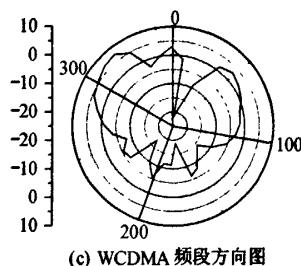
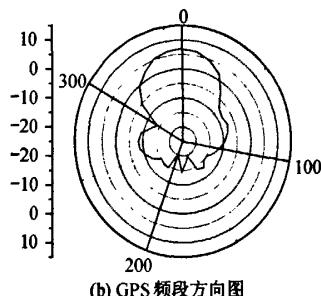
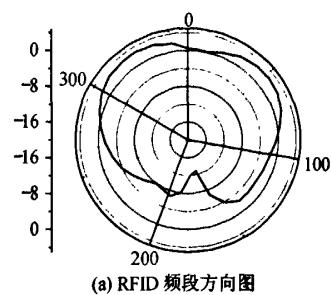


图6 天线在3个频率点的仿真方向图

Fig.6 Antenna patterns of the three frequency bands

贴片上开出一个L形槽实现了双频特性,又开出T形槽,实现了三频特性。之后,通过使用蝶形馈线和加载一个可等效为电抗网络的矩形贴片来改善天线的阻抗匹配参数和带宽,通过简单地改变矩形贴片、L形槽、T形槽这3个组成部分的长度和宽度,调节槽与槽之间的位置,得到实际应用中所需要的对应频段。该天线具有体积小、容易制作、易集成、加工成本低等特点。同时本研究给出了天线的详细设计过程,对于同类型平面倒F天线的设计具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] GUO Y X, TAN H S. New compact six-band internal antenna [J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2004, 3(15):295-297.

- [2] SEOL K, JANG Y, CHOI J. PIFA with PIL patch having bent feed line for GSM\DCS\UMTS\WiBro applications [J]. *Electronics Letters*, 2007, 43(8):436-437.
- [3] 牛凤,李征帆.一种双U形槽加载的新型三频平面倒F天线[J].*微波学报*,2007,23(2):1492-1495.
- [4] 钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991:18-27.
- [5] WATERHOUSE R. Printed antenna for wireless communication [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 2007:199.
- [6] YEH S H, WANG K L, FANG S T. Dual-band planar inverted-F antenna for GSM/DCS mobile phones [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2003, 51(5):1124-1126.
- [7] FEICK R, CARRASCO H, Hristov H D. PIFA input bandwidth enhancement by changing feed plate silhouette [J]. *Electronics Letters*, 2004, 40(15):921-922.
- [8] GUO Y X, CHIA M Y W, CHEN Z N. Miniature built-in multiband antennas for mobile handsets [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2004, 52(8):1936-1944.
- [9] GUO Y X, ANG I, CHIA M Y W. Compact internal multi-band antennas for mobile handsets [C]// 33rd European Microwave Conference. 2003:1259-1261.
- [10] 谢拥军. Ansoft HFSS 基础及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2007:151-161.

(编辑:赵宇)

· 简讯 ·

上海大学入选全国 2009 年度“表现不俗”的论文高校

2010 中国科技论文统计结果发布会于 11 月 26 日在北京国际会议中心举行.这次会议从中国国际科技论文产出状况、中国国内科技论文产出状况和中国科技期刊相关指标三个方面分析了 2009 年度中国科技论文的发表情况.大会强调要重视论文质量,中国科技信息研究所在 2009 年第一次推出“表现不俗”论文的概念,即在每个学科领域内,按统计年度的论文被引用次数世界均值划一条线,高于均线的论文称为“表现不俗”的论文,也就是论文发表后的影响超过其所在学科的一般水平.经统计,我国只有 15.5% 的论文表现不俗,上海大学被评为 2009 年度“表现不俗”的论文高校,全国排名第 29 位.排名全国高校前三位的分别是浙江大学、上海交通大学和清华大学.

2009 年上海大学作为第一作者发表并收录的论文共 2 857 篇,其中国际三大检索收录论文 1 684 篇,中国科技论文与引文数据库收录论文 1 173 篇.主要反映自然科学基础研究结果的《科学引文索引》(SCI)收录的论文共 648 篇,比 2008 年增加 8.9%,列全国高校排名第 33 位;反映工程科学研究情况的《工程索引》(EI)收录的论文同样有 648 篇,比 2008 年增加 17.6%,列全国高校第 37 位;反映参与国际科技会议活动状况的《科学技术会议录索引》(ISTP)收录论文共 388 篇,比 2008 年下降 36.5%,列全国高校第 31 位.中国科技论文被引用 2 579 次,比 2008 年增长 7.9%,SCI 从 2004—2008 年有 501 篇论文被引用 1 355 次,全国高校排名第 31 位.

(科技处)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>